



## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN**

### **TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

# **Relación entre los cambios en la elongación axial y el poder del cristalino en niños pequeños con y sin lentes de contacto de control de miopía**



**LETICIA VILA ÁLVAREZ**

JESÚS ARMENGOL CEBRIAN  
JAUME PAUNÉ FABRÉ

DEPARTAMENTO DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA DE CATALUNYA.

21/06/2018



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

El Sr. Jaime Pauné Fabrèy el Sr. Jesús Armengol Cebrián,

### CERTIFICAN

Que la Sra. Leticia Vila Álvarez ha realizado bajo su supervisión el trabajo “Relación entre los cambios en la elongación axial y el poder del cristalino en niños pequeños con y sin lentes de contacto de control de miopía” que se recoge en esta memoria para optar al título de máster en Optometría y Ciencias de la Visión.

Y para que así conste, firmo/firmamos este certificado.

Sr. Jesús Armengol Cebrián

Director del TFM

Sr. Jaume Pauné Fabrè

Tutor del TFM

Terrassa,.....de.....de 2018



## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN**

### **DISEÑO DE UN ESTUDIO RETROSPECTIVO PARA VALIDAR EL CRECIMIENTO DEL OJO CON EL USO DE LENTES DE CONTACTO QUE LIMITAN EL DESARROLLO DE MIOPIA**

#### **RESUMEN**

##### **OBJETIVO:**

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la función que desempeñan los cambios producidos en el cristalino en el control de la miopía. Para ello correlacionamos estos datos con el crecimiento del ojo y el uso de lentes de contacto que limitan el desarrollo de la miopía en niños, utilizando refracciones cicloplégicas y biometrías oculares. Haremos un cálculo con la fórmula de Bennet para derivar con precisión la potencia del cristalino para cada individuo y, estudiaremos el cambio entre grupos de la potencia del cristalino y la longitud axial en niños miopes que están siendo tratados con un nuevo modelo de lente de gradiente periférico (AMIOPIK).

##### **MATERIAL Y MÉTODOS:**

Se recogieron los datos refractivos y biométricos de 27 ojos del grupo experimental y 25 ojos del grupo control de un estudio previo y, se realizó un cálculo con la fórmula de Bennet para derivar con precisión la potencia del cristalino para cada individuo. Se estudiaron las diferencias entre los grupos realizando el estudio estadístico con el programa Minitab v18.

##### **RESULTADOS:**

No hemos encontrado diferencias significativas en ningún caso pero, la longitud de la cámara vítrea y la longitud axial han dado parámetros cercanos al nivel de significancia. Además, la potencia de la lente parece disminuir en el primer año en el grupo experimental.

##### **CONCLUSIONES:**

Nosotros no hemos encontrado diferencias significativas en ningún caso pero, la longitud de la cámara vítrea y la longitud axial han dado parámetros cercanos a la significatividad. Teniendo en cuenta que en la tesis del Dr. Jaumé Pauné Fabré existían diferencias significativas en la longitud axial y que la potencia de la lente parece disminuir en el primer año en el grupo experimental, podemos intuir que el cristalino puede desarrollar un papel importante en el proceso de control de la miopía.



## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN**

### **DISEÑO DE UN ESTUDIO RETROSPECTIVO PARA VALIDAR EL CRECIMIENTO DEL OJO CON EL USO DE LENTES DE CONTACTO QUE LIMITAN EL DESARROLLO DE MIOPIA**

#### **RESUM**

##### **OBJECTIU:**

El principal objectiu d'aquest treball és estudiar la funció que exerceixen els canvis produïts en el cristal·lí en el control de la miopia. Per a això correlacionem aquestes dades amb el creixement de l'ull i l'ús de lents de contacte que limiten el desenvolupament de la miopia en nens, utilitzant refraccions cicloplègiques i biometries oculars. Farem un càlcul amb la fórmula de Bennet per a derivar amb precisió la potència del cristal·lí per a cada individu i, estudiarem el canvi entre grups de la potència del cristal·lí i la longitud axial en nens miops que estan sent tractats amb un nou model de lent de gradient perifèric (AMIOPK).

##### **MATERIAL I MÈTODES:**

Es van recollir les dades refractives i biomètriques de 27 ulls del grup experimental i 25 ulls del grup control d'un estudi previ i, es va realitzar un càlcul amb la fórmula de Bennet per a derivar amb precisió la potència del cristal·lí per a cada individu. Es van estudiar les diferències entre els grups realitzant l'estudi estadístic amb el programa Minitab v18.

##### **RESULTATS:**

No hem trobat diferències significatives en cap cas però, la longitud de la càmera vítria i la longitud axial han donat paràmetres propers al nivell de significació. A més, la potència de la lent sembla disminuir en el primer any en el grup experimental.

##### **CONCLUSIONS:**

Nosaltres no hem trobat diferències significatives en cap cas però, la longitud de la càmera vítria i la longitud axial han donat paràmetres propers a la significativitat. Tenint en compte que en la tesi del Dr. Jaume Pauné Fabré havia diferències significatives en la longitud axial i que la potència de la lent sembla disminuir en el primer any en el grup experimental, podem intuir que el cristal·lí pot desenvolupar un paper important en el procés de control de la miopia.





## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN**

### **DISEÑO DE UN ESTUDIO RETROSPECTIVO PARA VALIDAR EL CRECIMIENTO DEL OJO CON EL USO DE LENTES DE CONTACTO QUE LIMITAN EL DESARROLLO DE MIOPIA**

#### **RESUM**

##### **OBJECTIVE:**

The main objective of the present work is to study the changes produced in crystalline lens in the myopia control. This datum is correlated to eye growth and use of contact lens, which restricts myopia development in children, by using cycloplegic refractions and ocular biometry. A calculation is done with Bennet formula in order to derive accurately crystalline lens strength in each individual. The changes of crystalline strength in different groups and the axial length in myopic children who are being treated by a new model of peripheral gradient lenses (AMIOPK) are studied.

##### **MATERIAL AND METHODS:**

Refractive and biometric datum of 27 eyes in the experimental group and 24 eyes of the control group from a previous study were analyzed. A calculation with Bennet formula was done in order to derive accurately the crystalline strength for each individual. Differences between groups were conducted and statistics were calculated by Minitab v18 program.

##### **RESULTS:**

Any significant difference in any case was found. However, length in vitreous chamber and axial length have given close parameters related to significance. In addition, lens strength seems to decrease during the first year in the experimental group.

##### **CONCLUSION:**

Any significant difference in any case was found. However, length in vitreous chamber and axial length have given close parameters related to significance. Having in mind that in Dr. Jaume Pauné Fabrè thesis some significant differences in the axial length were found and that lens strength seems to decrease during the first year in the experimental group, we might suspect that crystalline lens can play an important role in the process of myopia control.

# AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a Jesús Armengol y Jaume Pauné por toda la ayuda prestada en este trabajo y, también por su dedicación diaria en el campo de la investigación.

A todas las personas que han colaborado en el estudio previo, sin ellas no sería posible.

A mis amigas y a mis amigos, que siempre están en las buenas y también en las malas. Una vez más vuestro apoyo lo he sentido muy cerca.

A Manuel, que desde el minuto uno y hasta el final me ha apoyado y, a pesar de la distancia, seguimos compartiendo una vida en común maravillosa. Gracias por tu paciencia en todo el trayecto, lo hemos conseguido juntos.

A mi familia, que siempre está ahí para tranquilizarme cuando la desesperación se ha apoderado de mí y que aguantan mis malos humores sin una mala cara. Sin mis tías, mi tío, mis abuelos, mis primos y mi madrina nada de esto hubiera sido posible.

A mi padre y a mi hermano, mis dos ejemplos de superación. Me enseñan cada día que, a pesar de las adversidades que la vida nos pone por delante, siempre se sale adelante. Seguimos siendo cuatro.

A mi madre, mi guerrera, mi ejemplo de lucha. Antes de irse para siempre ya sabía que algún día llegaría hasta aquí. Su confianza hizo, hace y hará que consiga todo lo que me proponga. Siempre estará conmigo, en cada paso aunque no la pueda ver.



# ÍNDICE

1. Introducción .....	8
2. Estado del arte .....	8
2.1 Problemática general del crecimiento de la miopía en el mundo .....	8
2.2 El proceso de emetropización y la aparición de la miopía en jóvenes. El papel del cristalino .....	10
2.3 Sistemas de control del desarrollo de la miopía.....	13
3. Estudio del papel del cristalino en el proceso de crecimiento del ojo	16
3.1 Objetivos .....	17
3.2 Materiales y Métodos .....	17
3.3 Fórmula de Bennet.....	19
3.4 Análisis de datos y estadística.....	20
3.5 Resultados .....	20
4. Discusión .....	29
5. Conclusión .....	31
6. Posibilidades de futuro.....	31
7. Bibliografía.....	32

# 1. Introducció

He elegido este trabajo porque considero que la progresión de la miopía en niños debe de ser abarcada con especial atención en el ámbito de la optometría. Es un problema multifactorial que ya no puede considerarse como un error refractivo benigno y que aparece como un reto para muchos de nosotros, con el que convivimos día tras día tanto en ópticas como en clínicas, viendo que cada vez hay más cantidad de niños que son miopes y, además, cada vez la cantidad de miopía que tienen es más alta. Me ha parecido interesante verificar los datos obtenidos en un estudio previo, para comprobar qué relación puede haber entre el aumento de la longitud axial y el poder del cristalino.

El presente trabajo ha sido estructurado de forma que, comienzo haciendo una revisión bibliográfica de los conocimientos científicos existentes hasta el momento para comprender los procesos implicados en el desarrollo de la miopía y que intervienen en el proceso de emetropización. En este apartado del estado del arte, abarco la problemática general del crecimiento de la miopía en el mundo, el proceso de emetropización y la aparición de la miopía en jóvenes incluyendo el papel que juega el cristalino y los sistemas o estrategias de control que, actualmente, existen para disminuir y/o controlar el desarrollo de la miopía.

En el tercer apartado que es la parte empírica realizo un estudio a partir de los datos obtenidos en la tesis realizada por el Dr. Jaume Pauné Fabré. El objetivo es mejorar las biometrías realizadas en dicho estudio, para comparar una lente experimental con un grupo control que utilizaba gafas. Utilizo la fórmula de Bennet para calcular la potencia del cristalino y, así buscar la posible correlación que pueda haber entre los cambios producidos en la longitud axial y los cambios en el poder del cristalino.

Con los resultados obtenidos del estudio se realiza una discusión, se intenta sacar algunas conclusiones y abro posibilidades de futuro.

## 2. Estado del arte

### 2.1 Problemática general del crecimiento de la miopía en el mundo

Los errores refractivos son el problema ocular más común. Estos errores afectan a todos los grupos de edad y se consideran un desafío de salud pública. Informes de la OMS indican que los errores de refracción son la primera causa de discapacidad visual y la

segunda causa de pérdida visual en el mundo, ya que el 43% de las deficiencias visuales se atribuyen a errores refractivos[1].

Actualmente la miopía es la condición refractiva más frecuente en el mundo y genera importantes gastos anuales en el sistema de salud. Aunque todavía se considera una condición benigna, en altas miopías aumenta el riesgo de patologías o complicaciones que reducen la calidad de vida como: desprendimiento de retina reumatógeno, cataratas, glaucoma, maculopatía, discapacidad visual e incluso ceguera legal [2].

La prevalencia de la miopía en las últimas tres décadas está en aumento, siendo un problema de salud pública significativo, especialmente en los países del este de Asia donde se está convirtiendo en una epidemia [3].

Debido a que la miopía es una condición multifactorial, los factores etiológicos que impiden un correcto proceso de emetropización son diversos. Hay estudios que incluyen edad, sexo, origen étnico, nivel de inteligencia, cantidad de libros leídos por semana, miopía de los padres y tiempo que pasan al aire libre [4]. Además, se pueden mencionar otros factores que influyen en el aumento en la prevalencia de la miopía en todo el mundo, como los cambios en el estilo de vida y el uso cada vez mayor de ordenadores, móviles y/o tabletas, lo que resulta en un aumento del trabajo en visión cercana y, por consiguiente, una reducción de las actividades que se realizan al aire libre[3].

La hipótesis del efecto de la actividad al aire libre sobre la miopía ha sido probada en un ensayo clínico reciente que mostró que la incidencia de miopía era aproximadamente un 10% menor en niños que realizaban más actividades al aire libre[5]. Según esta hipótesis, el factor que previene la miopía en la actividad al aire libre es la luz. Algunos estudios han demostrado que el mecanismo por el que la luz estimula la secreción de dopamina en la retina, evita el alargamiento ocular durante el proceso de desarrollo ocular previniendo la aparición de miopía[6].

También se ha evaluado el mecanismo de desarrollo de la miopía después del trabajo en visión próxima. El aumento del grosor de la lente y la presión del músculo ciliar en la pared del globo aumentan la longitud axial (AL) durante la acomodación. Algunos investigadores creen que los cambios ópticos durante la acomodación (aumento del retraso acomodativo o aumento de la aberración de orden superior) pueden cambiar el grosor corioideo, lo que resulta en cambios en la AL [3].

La alta heredabilidad en la miopía sugiere que existe un componente genético significativo[7]. Una revisión de datos de la última década en la búsqueda de genes de la miopía apunta a la longitud axial y la refracción compartiendo genes comunes y afirma que la mayoría de los casos de miopía no son probablemente causados por defectos en las proteínas estructurales, sino en defectos que implican el control de las proteínas[8].

## **2.2 El proceso de emetropización y la aparición de la miopía en jóvenes. El papel del cristalino**

La emetropía es la condición ideal en la que el ojo, sin realizar ningún esfuerzo y sin necesitar ninguna ayuda óptica, logra converger por refracción los rayos lumínicos con origen en el infinito formando un foco (círculo de menor confusión) justo sobre la retina. De esta forma, el ojo transmite al cerebro a través del nervio óptico, una imagen nítida[9]

Emetropización se define como un proceso activo que ocurre durante los dos primeros años de vida y, por el cual se consigue un equilibrio preciso entre la potencia de refracción corneal y lenticular y la longitud del ojo, es decir, es la tendencia del aparato óptico ocular hacia la emetropía por una correlación de los elementos ópticos individuales. Este equilibrio debe dar como resultado un estado refractivo neutro y de refracción estable. Los componentes oculares que están en equilibrio en emetropía están, obviamente, descompensados en la miopía, estado en el cual el ojo es demasiado largo para la potencia óptica de la córnea y el cristalino [10].

Los resultados de estudios en humanos y en animales de laboratorio, muestran que, el proceso de emetropización está activamente regulado por un sistema de retroalimentación visual[11]. Hasta no hace mucho parecía que el crecimiento de la longitud axial era el factor más influyente en el desarrollo de la miopía. Sin embargo, a pesar del consenso de que la longitud axial es el principal factor que determina el grado de error de refracción, aún no está claro cómo los otros componentes oculares, afectan a la progresión de la miopía y su estabilización[12].

La literatura muestra pocos datos sobre el crecimiento del diámetro ecuatorial de la lente ya que el ecuador de la lente no es visible in vivo. Los valores que se han obtenido son in vitro: 6.5 mm para recién nacidos, 7.5 mm al final del primer año, y 8.2 mm a los 2-3 años. Estos datos muestran que se logra el crecimiento principal del diámetro ecuatorial de la lente durante los dos primeros años de vida [13]. Los valores adultos son alrededor de 9 mm, aumentando poco y muy lentamente con el envejecimiento [14].



En 2005 Mutti et al.[15]informaron que el radio de la lente anterior cambia de 7.21 mm a los tres meses a 8.97 mm a los 9 meses, volviéndose más plano. Si la lente estuviera creciendo tanto en diámetro ecuatorial como en espesor axial, como puede ser el caso en los primeros meses de vida en bebés prematuros, entonces la disminución en la curvatura de la superficie anterior sería mucho menor (la lente mantendría una forma constante mientras se ensancha en los primeros dos meses). Pero sigue perdiendo poder constantemente como se muestra en la siguiente figura:

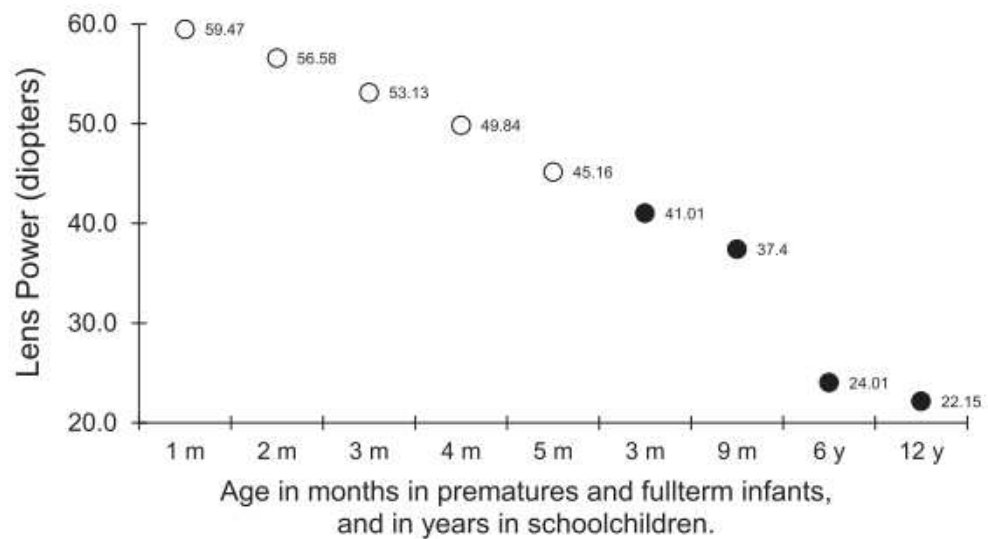


Figura 1: Potencia del cristalino en función de la edad en prematuros y niños nacidos a término y, en edad escolar

Estudio Mutti et al., 2005[15]

Es decir, la lente se adelgaza y se compacta desde el nacimiento hasta la edad escolar, perdiendo poder[16].

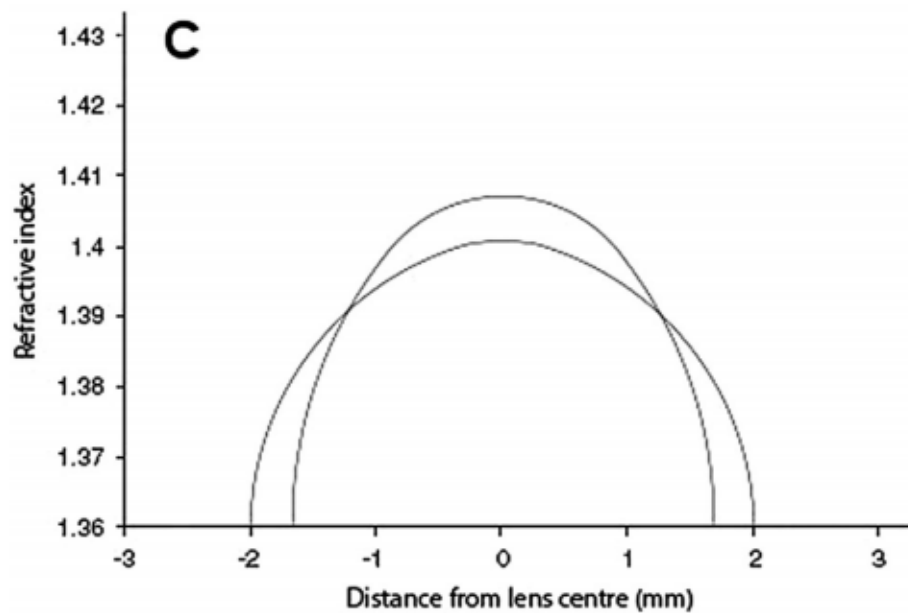


Figura 2: Dibujo esquemático del perfil de índice de gradiente de dos lentes. Una de ellas es más delgada y tiene un perfil más abrupto alcanzando un índice máximo. La otra lente se adelgaza y compacta perdiendo, además, potencia.

Estudio Iribarren 2015 [16]

En el estudio de Mutti et al. [10] se observó que el comportamiento del cristalino antes y después del inicio de la miopía, indica que la respuesta de compensación previamente correlacionada del cristalino, se interrumpe al inicio de la miopía. Ópticamente, este resultado es axiomático; la miopía sería imposible si el cristalino y la longitud axial siempre cambiaran en tándem. Sin embargo, la miopía casi siempre se piensa primero como una longitud excesiva. Estos resultados sugieren que aunque el crecimiento excesivo es importante, el ojo sólo se vuelve miope cuando se desarrolla una independencia entre el segmento anterior (cristalino) y el posterior (crecimiento axial) [10].

Es interesante comparar los estudios de Rafael Iribarren y Yung- Feng Shih et al., [16][17]. En ellos se observa que en el estudio de Iribarren[16] la estabilización del cristalino aproximadamente a los 12 años coincide con el punto de mayor adelgazamiento en el estudio de Shih[17] en Taiwán. A partir de los 12 años se observa que el cristalino inicia su aumento de espesor aunque seguramente los cambios en diámetro y gradiente interno podrán hacer que su potencia se mantenga controlada [16][17].

Por otra parte, ya sabemos que cuando se desarrolla la miopía el ojo es más largo que ancho. Esta forma alargada del globo ocular crea un desenfoque hipermétrope relativo en la visión periférica, a lo largo de las dimensiones laterales alejadas de la mácula. Esta refracción

de la visión periférica es otra hipótesis como un posible desencadenante en el proceso de emetropización activa [11].

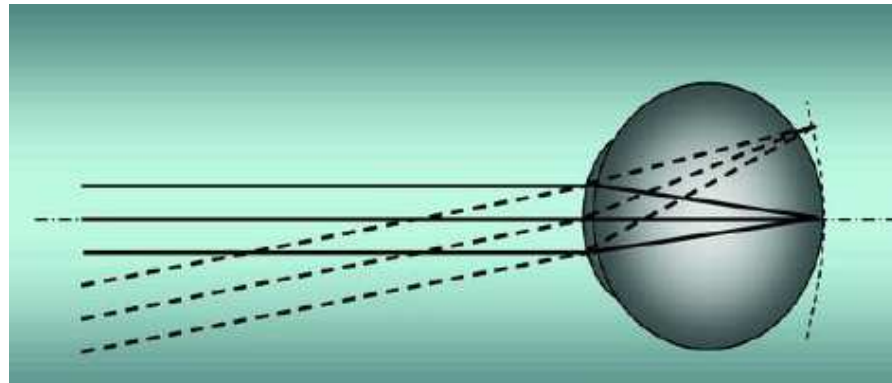


Figura 3: Representación de un ojo miope corregido con refracción relativa periférica hipermetrope. Plano horizontal.

Tesis Jaume Pauné Fabrè [18]

### 2.3 Sistemas de control del desarrollo de la miopía

Las estrategias que se han usado para prevenir la elongación axial excesiva se han basado en los siguientes conceptos:

- Controlar las condiciones ambientales, tales como incrementar las actividades en exteriores [19] y reducir las tareas visuales cercanas [20].
- Alterar las propiedades ópticas del ojo, utilizando gafas bifocales y progresivas con la finalidad de reducir el retraso o lag acomodativo [21].
- Uso de fármacos tales como atropina o pirenzepina [22].
- Y el uso de lentes de contacto

Algunas estrategias se pensó que eran eficaces para el control de la miopía pero se comprobó que, por ejemplo, tanto la hipo-corrección como la hipercorrección no sólo no eran métodos eficaces para el control de la miopía si no que, además, se producía una mayor progresión de la miopía en pacientes hipo-corregidos y/o hiper-corregidos comparados con los pacientes que usaban la refracción total o ideal [23].

La forma de control de la miopía con lentes oftálmicas multifocales y bifocales es una de las más investigadas. Se cree que las gafas multifocales reducen el esfuerzo acomodativo desacelerando así, la progresión de la miopía. La mayoría de investigaciones encuentran una ralentización estadísticamente significativa de la miopía con lentes multifocales pero pocos estudios encuentran una ralentización clínicamente significativa incluso en niños con alto

retraso acomodativo y/o endoforia. Un ensayo clínico aleatorizado informó que los niños que llevaron gafas multifocales progresaron menos que los niños que usaron gafas monofocales pero con una diferencia de menos de 0.25 D durante 3 años que no tiene significado clínico [24].

Por otra parte, un ensayo clínico asignó al azar a niños miopes progresivos que equipó con bifocales ejecutivos durante 3 años y encontró un 39% de disminución de la progresión de la miopía para gafas bifocales y un 50% de efecto de tratamiento para gafas bifocales con prisma base[24].

En la siguiente gráfica se puede visualizar una comparativa del cambio medio en longitud axial en 24 meses con el uso de lentes monofocales, bifocales y bifocales prismáticas.

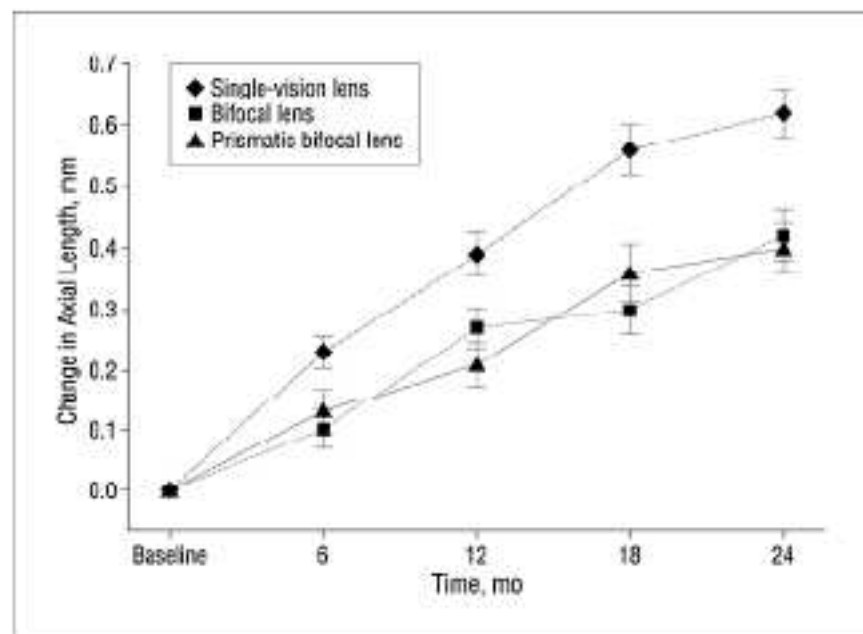


Figura 4: Cambio medio en longitud axial en 24 meses. Comparativa entre lentes monofocales, bifocales y bifocales prismáticas.  
Tesis Jaume Pauné Fabrè [18]

Respecto al tiempo al aire libre ha demostrado ser efectivo para atrasar el inicio de la miopía, pero no para ralentizar la progresión del error refractivo miópico [5].

Otra de las estrategias utilizadas es el uso de agentes antimuscarínicos. Los más investigados incluyen pirenzepina y atropina. La atropina proporciona el mejor control de la miopía, pero tiene efectos secundarios ciclopléjicos y midriáticos dosificada si se utiliza en una dosis del 1,0%. Pero se ha demostrado que la atropina de baja concentración

proporciona un control efectivo de la miopía con muchos menos efectos secundarios que la atropina al 1,0%. Además, se ha demostrado que dos agentes, la atropina de baja concentración junto con el tiempo al aire libre reducen la probabilidad de aparición de miopía en niños [21]. También existen estudios en los que se habla del rebote miópico después de interrumpir el tratamiento con atropina, y concluyen que esto parece minimizarse mediante el uso de dosis bajas (especialmente atropina 0,01%) [22].

En cuanto al uso de lentes de contacto para control de miopía, es una estrategia que nos ofrece muchos beneficios como aumento del campo visual, reducción del efecto prismático y la magnificación, disminución de la imagen retiniana, así como ventajas estéticas y de calidad de vida [25].

Los métodos con lentes de contacto engloban lentes rígidas, hidrofílicas (LCH) y las de geometría inversa u ortoqueratología. En el estudio de González-Méijome et al., [26] se ha informado que los métodos con lentes de contacto para abordar la regulación de la miopía en niños son bien aceptados. La terapia refractiva corneal (ortoqueratología) es hasta ahora el método más eficaz, con un 30-50% de reducción en la progresión de la miopía en diferentes grupos étnicos. Sin embargo, también se puede considerar la combinación de diferentes estrategias (es decir, desenfoque central, desenfoque periférico, filtros espectrales, administración farmacéutica...etc) [26].

Respecto a estas estrategias de tratamiento, los estudios en animales indican que el desenfoque miópico ópticamente impuesto debería ser efectivo para desacelerar la progresión de la miopía. Es decir, las lentes de tratamiento óptico deberían garantizar que se produjera un desenfoque miópico relativo en la retina y que las porciones relativas de potencia positiva de las lentes de tratamiento no sean utilizadas simplemente por el paciente para reducir las demandas de acomodación. Para aumentar la probabilidad de que una estrategia tenga éxito, el desenfoque miópico impuesto debería afectar una gran proporción de la retina periférica. De hecho, no es necesario incluir la fovea en la zona de tratamiento efectiva. Los datos emergentes de ensayos clínicos recientes muestran que las estrategias ópticas que tienen en cuenta la retina periférica e influyen en las imágenes sobre gran parte de la retina parecen producir mayores reducciones en la progresión de la miopía que las que no lo hacen. Más importante aún es que estos novedosos diseños de lentes están produciendo reducciones clínicamente significativas en la progresión de la miopía en los niños [21][27].

Como vemos la causa de la miopía y su progresión continúa siendo algo complejo. Hasta el momento se ha descrito el desarrollo óptico y estructural de los principales

componentes dióptricos del ojo, la córnea y el cristalino, y ha sido documentado desde la infancia hasta la niñez. Pero no se han relacionado en profundidad estos cambios entre sí, porque la potencia de la lente es difícil de medir in vivo. Por tanto, no se han realizado muchos estudios sobre el poder de la lente en humanos en vivo[16].

### 3. Estudio del papel del cristalino en el proceso de crecimiento del ojo

Para llevar a cabo este estudio nos hemos basado en la Tesis del Dr. Jaume Pauné Fabrè: *“Design, study and validation of a radial refractive gradient contact lens for myopia control”*. En esta tesis se ha comprobado como unas lentes de contacto experimentales (AMIOPIK) sirven para controlar el desarrollo de la miopía. Además, se comparó esta lente experimental con una lente ya probada considerada estándar de ortoqueratología y un grupo control.

La lente experimental AMIOPIK es un diseño único e innovador. Es una lente de gradiente radial refractivo y fue fabricada en dos materiales diferentes, uno rígido gas permeable (RGP) y otro blando. Se ha simulado su comportamiento en un modelo de ojo teórico y con una adición progresiva desde el ojo óptico hasta el borde pupilar, y se ha comprobado que funciona según lo previsto. Con esta lente se ha demostrado un conjunto de modificaciones que forman parte de teorías independientes sobre los elementos que influyen en el desarrollo del ojo humano y herramientas potenciales para el control de la miopía en niños. Los estudios clínicos que se han llevado a cabo concluyeron que la calidad óptica de las lentes es comparable a las lentes comerciales consideradas estándar. Se midieron las aberraciones (esférica, coma y RMS de alto orden) y la función sensibilidad al contraste (CSF) para verificar que la calidad óptica es adecuada para su uso y se concluyó que existe:

- Incremento de la aberración esférica positiva y cromática. Este incremento inducido se vio que no repercutía en la calidad de visión subjetiva, evaluada con la sensibilidad al contraste.
- Disminución del retraso acomodativo en visión próxima o LAG
- Adelantamiento progresivo de la refracción relativa periférica

Los cambios ópticos y la reducción de la progresión relacionada con el uso de estas lentes de contacto experimentales de esta tesis son relevantes para comprender los mecanismos de elongación excesiva en el ojo miope (sobre todo en niños) y deberían ser



considerados elementos terapéuticos preventivos de patologías oculares asociadas con la cantidad de miopía.

El presente estudio tiene como objetivo confirmar los datos obtenidos de los ensayos clínicos y, abordar mejoras que incluyen las variables biométricas conseguidas de la población objetivo que fueron obtenidas con un biómetro óptico basado en ultrasonidos. Con las variables biométricas estudiaremos la función que desempeña el cristalino en la progresión de la miopía, utilizando la fórmula de Bennet para calcular su potencia.

### 3.1 Objetivos

El principal objetivo es estudiar la función que desempeñan los cambios producidos en el cristalino en el control de la miopía correlacionando estos datos con el crecimiento del ojo y el uso de lentes de contacto que limitan el desarrollo de la miopía en niños, utilizando refracciones ciclopléjicas y biometrías oculares. Haremos un cálculo, utilizando la fórmula de Bennet para derivar con precisión la potencia del cristalino para cada individuo y, estudiaremos el cambio entre grupos de la potencia del cristalino y el grosor corneal en niños miopes que están siendo tratados con un nuevo modelo de lente de gradiente periférico (AMIOPIK).

### 3.2 Materiales y Métodos

El grupo experimental que ha usado lentes de contacto de control de miopía de gradiente esférico Amiopik está compuesto por 24 ojos y, el grupo control que ha utilizado solamente gafas está formado por 27 ojos. En el grupo experimental eran 8 mujeres y 4 eran hombres con edades comprendidas entre los 11 y los 16 años y, en el grupo control eran 5 mujeres y 9 hombres con edades entre los 8 y los 16 años. No se han tenido en cuenta las diferencias entre sexos porque la muestra no era lo suficientemente grande.

	<b>Grupo experimental</b> (11-16 años)	<b>Grupo control</b> (8-16 años)
<b>Mujeres</b>	8	5
<b>Hombres</b>	4	9

Los criterios de exclusión en la tesis del Dr. Jaume Pauné Fabrè se basaron en no incluir a los sujetos que no tenían la mínima progresión anual de la miopía de  $-0.30\text{D/año}$  y, en el presente estudio, además, excluimos a los pacientes que no completaron los dos años que duró la toma de datos previa.

Los instrumentos que fueron utilizados en el estudio previo para la obtención de los datos refractivos y biométricos fueron:

- Las refracciones cicloplégicas se realizaron con el auto-refractómetro NIDEK AUTO REF/KERATOMETER ARK-710 A.



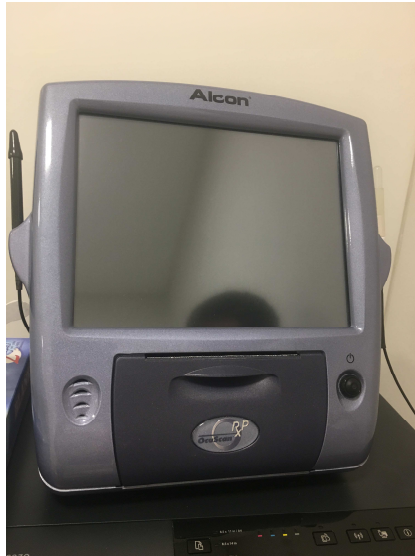
Autorefractómetro NIDEK . Imagen realizada en INOF-  
Centro de investigación y cirugía ocular

- Las topografías fueron realizadas con el topógrafo Optikon.



Topógrafo Optikon. Imágenes realizadas en Centro Marsden de  
Terapia Visual.

- Las biometrías se realizaron con el OcuScan RXP que es un biómetro de ultrasonidos.



Biómetro OcuScan RXP. Imagen realizada en INOF-Centro de investigación y cirugía ocular

### 3.3 Fórmula de Bennet

La refracción ocular está determinada por la longitud axial, profundidad de la cámara anterior, potencia corneal y potencia de la lente. A pesar de que las mediciones de longitud axial y queratometría se han convertido en rutina clínica, determinar el poder de la lente es problemático. Por ello, se ha propuesto calcular la potencia de la lente utilizando la fórmula de Bennet que, proporciona una estimación rápida de la lente equivalente teniendo en cuenta los parámetros antes citados que son de fácil determinación.

Bennet propuso este método y usando una descripción de lente gruesa, hizo suposiciones sobre la forma y distribución del índice de refracción de la lente basándose en el ojo esquemático de Gullstrand-Emsley.

Existen estudios que concluyeron que si el grosor de la lente se conoce, el poder de la lente se calcula mejor usando la fórmula de Bennet que con cualquier otro como, por ejemplo, el modificado de Stenström o los métodos de Bennet-Rabbetts[28].

$$Pl \text{ Bennet} = 1333.33 / (Bcte * Lens \text{ Thickness} + Vitreous) - (Spherical \text{ Eq} / (1 - 0.012 * Spherical \text{ Eq}) + Mean \text{ Keratometry}) / (1 - (ACD + Acte * Lens \text{ Thickness}) * (Spherical \text{ Eq} / (1 - 0.012 * Spherical \text{ Eq}) + Mean \text{ Keratometry}) / 1333.3)$$

Donde:

Acte= 0.012

Bcte= 0.336

Lens thickness= grosor de la lente

ACD= profundidad de la cámara anterior

Vitreos= cámara vítrea

Spherical Eq= Equivalente esférico

Mean Keratometry=  $328/((K+k)/2)$

### 3.4 Análisis de datos y estadística

Para realizar el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el programa Minitab v18.

Para conocer cómo han cambiado los parámetros de cada grupo se ha hecho la diferencia entre los valores finales y los valores iniciales o baseline y, hemos comparado esas diferencias entre el grupo experimental y el grupo control.

Se ha realizado una prueba de normalidad para saber si los datos provienen de una población distribuida normalmente. Y, por último, se ha hecho una estadística básica de t de dos muestras para ver si existen diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo control. Las diferencias significativas en las que los valores están dentro del rango de normalidad, se llevó a cabo la estadística con la t de student de dos muestras mientras que, para los datos que no estaban dentro de la normalidad se utilizó la estadística Mann-Whitney U test.

### 3.5 Resultados

Se han comparado los parámetros oculares del grupo experimental con los del grupo control que fueron revisados al inicio del estudio, a los 6, 12, 18 y 24 meses de estudio. Los parámetros analizados son la longitud axial, el equivalente esférico, el grosor de la lente, la potencia de la lente (calculada mediante la fórmula de Bennet), la profundidad de la cámara anterior y la cámara vítrea.

Se han utilizado los valores promedio, se han analizado y se han realizado las gráficas con barras de error que corresponden a una desviación estándar para abajo o para arriba.

Para comenzar se ha analizado la profundidad de la cámara anterior:

- Comportamiento global: parece que la ACD crece en los dos grupos en función del tiempo con valores prácticamente iguales en el grupo experimental y el grupo control. Sin embargo, en el periodo de tiempo de los 6 meses a los 12 meses hay un aumento mayor en el grupo experimental, frente a una pequeña disminución en el grupo control. Entre los 12 meses y los 18 meses se vuelven a igualar porque en el grupo experimental decrece la profundidad de la cámara anterior, mientras que en el grupo control aumenta produciéndose una compensación que iguala los valores nuevamente a los 18 meses, aunque el comportamiento global sigue siendo de crecimiento en ambos grupos.

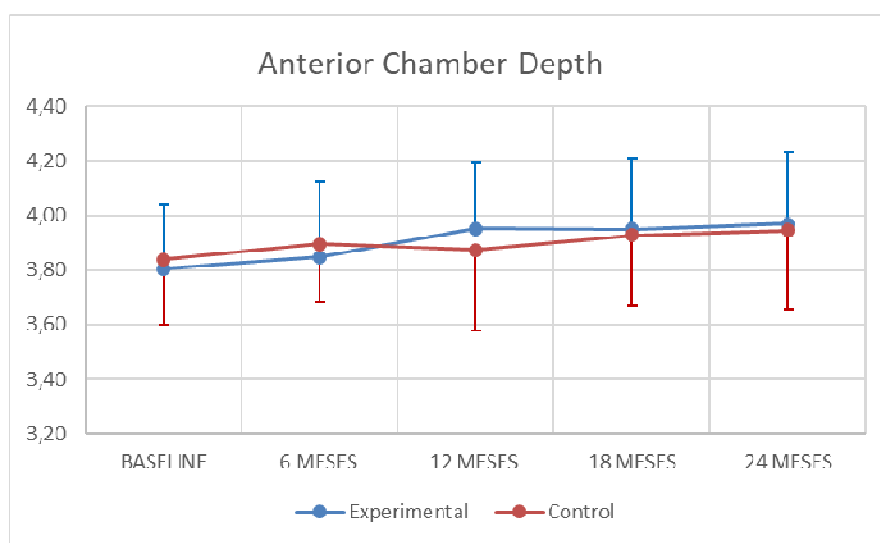


Figura 5: Gráfica en la que se compara la profundidad de la cámara anterior en función del tiempo del grupo experimental y el grupo control al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses.

Continuamos con el análisis del espesor de la lente:

- Comportamiento global: Se aprecia como el grupo control tiene mayor grosor de la lente que el grupo experimental desde el inicio hasta los 24 meses. Pero la lente mantiene su grosor en ambos grupos a lo largo del estudio, las diferencias se mantienen estables siempre.

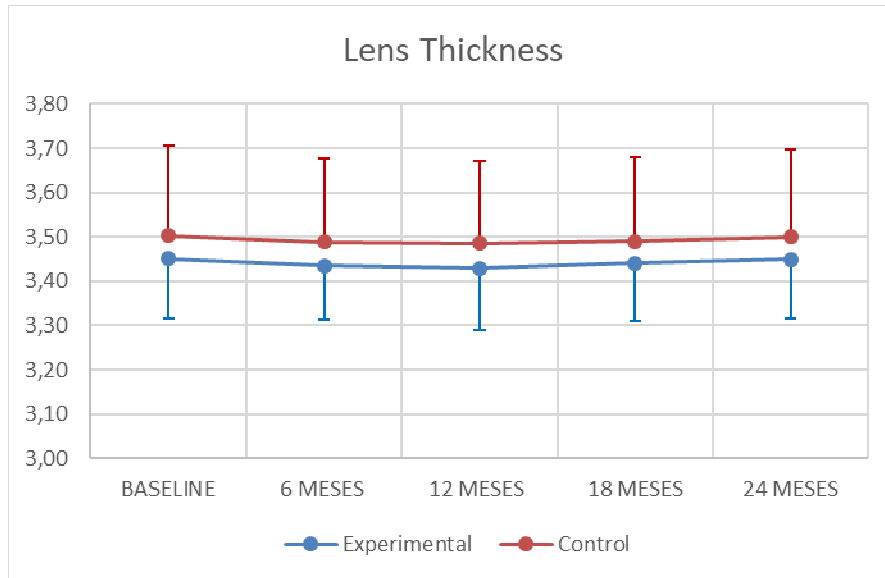


Figura 6: Gràfica en la que se compara el espesor de la lente en función del tiempo del grupo experimental y del grupo control al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses.

Seguimos con el análisis del poder del cristalino calculado a partir de la fórmula de Bennet y vemos empieza teniendo más potencia al comienzo del estudio en el grupo experimental pero, al cabo de 12 meses es prácticamente igual a la del grupo control y, a los 18 meses podría decirse que es igual. Al final del estudio parece que vuelve a haber un repunte y vuelve a ser mayor en el grupo experimental que en el grupo control pero sin tanta diferencia como al principio del estudio. Además, en el grupo control la potencia del cristalino no varía mientras que en el grupo experimental la potencia de la lente disminuye.



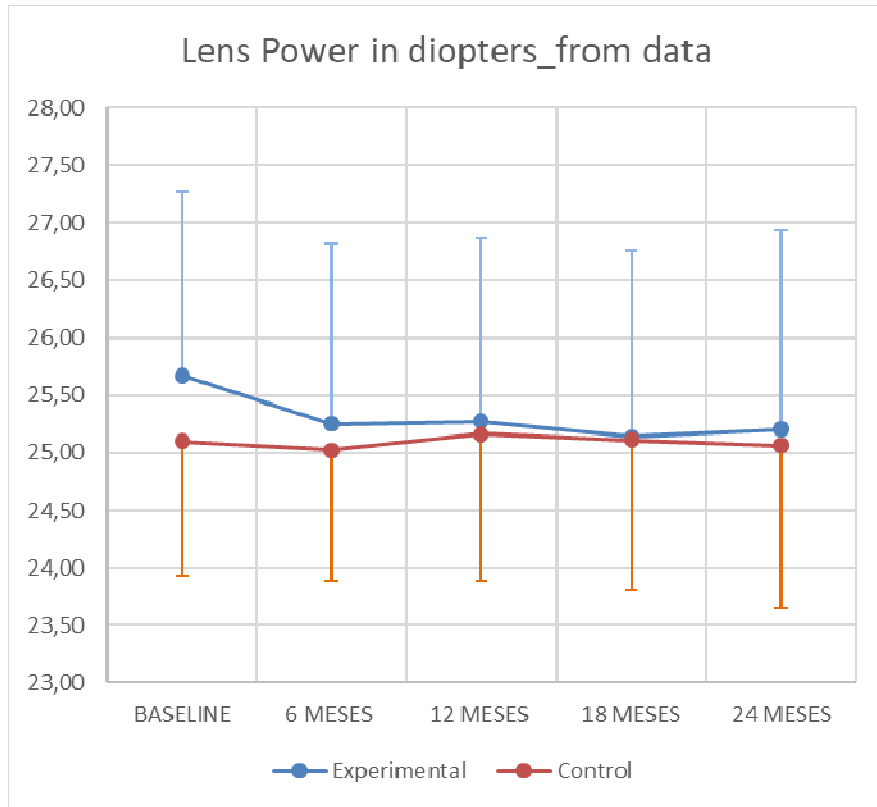


Figura 7: Gràfica en la que se compara el poder del cristalino en del grupo experimental y el grupo control en función del tiempo al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses.

Analizamos la cámara vítrea:

- Comportamiento global: parece que la cámara vítrea crece en los dos grupos en función del tiempo y, además, crece de manera similar en ambos grupos percibiéndose una pequeña diferencia a los 24 meses cuando tiene un mayor crecimiento en el grupo control.

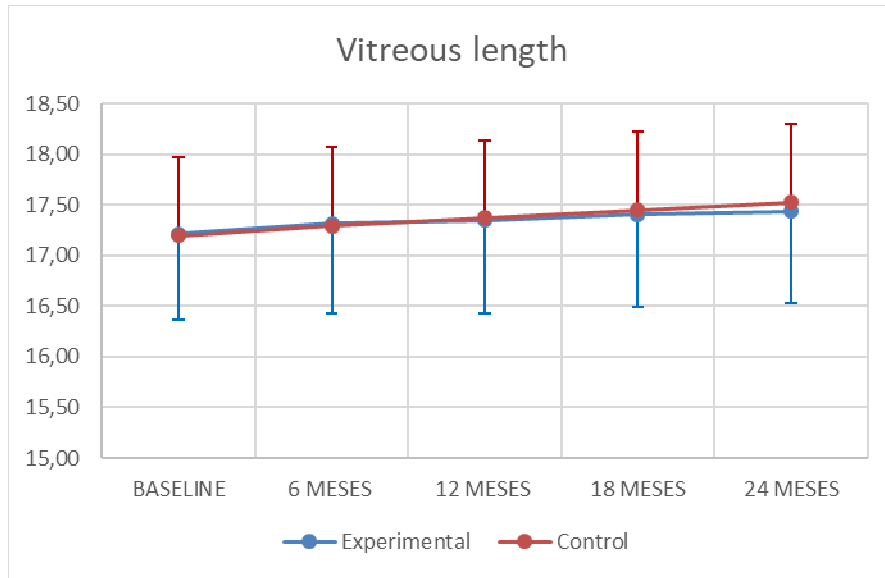


Figura 8 : Gràfica en la que se compara la càmera vítreia del grup experimental y el grupo control en función del tiempo al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses.

En cuanto a la longitud axial:

- Comportamiento global: parece que la longitud axial crece en los dos grupos pero, un poco más en el grupo control. Esa pequeña diferencia entre ambos grupos se aprecia mejor a los 24 meses del estudio.

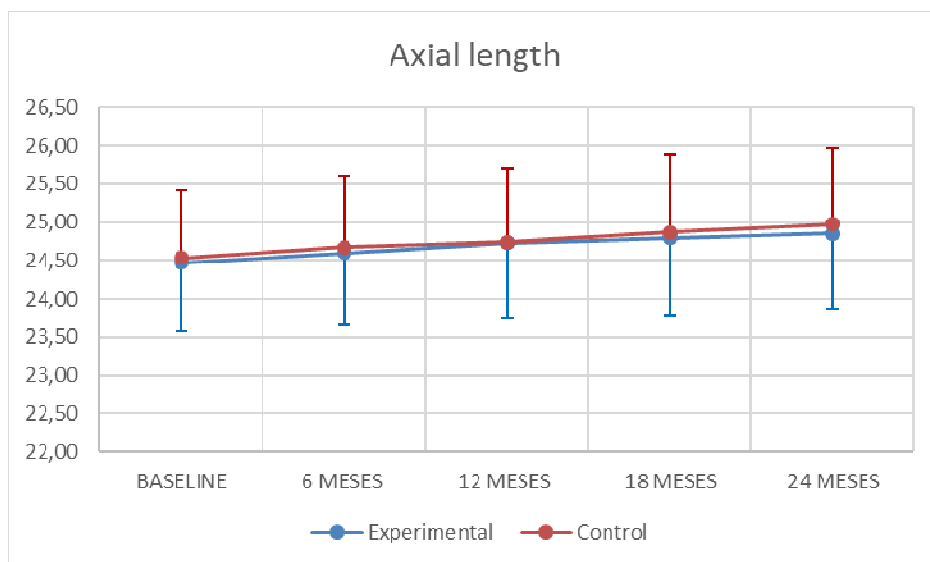


Figura 9: Gràfica en la que se compara la longitud axial del grupo experimental y del grupo control en función del tiempo al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses

El último parámetro analizado, el equivalente esférico:

- Comportamiento global: la miopía aumenta en los dos grupos a lo largo del tiempo pero, a los 24 meses se aprecia que aumenta un poco más en el grupo control.

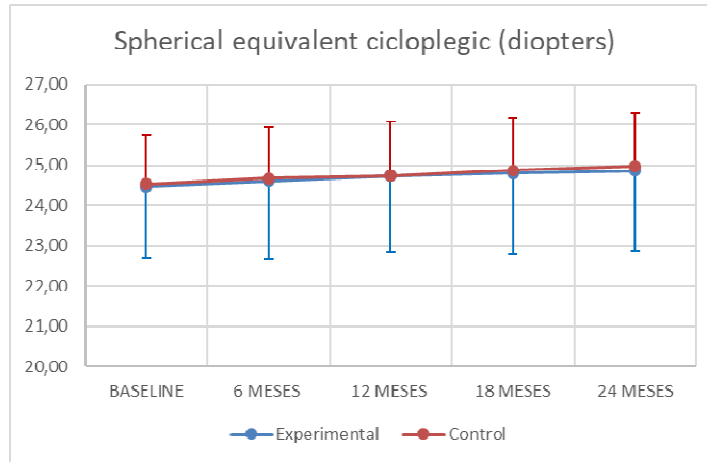


Figura 10: Gráfica en la que se compara el equivalente esférico cicloplégico en del grupo experimental y el grupo control en función del tiempo al inicio, a los 6, 12, 18 y 24 meses.

Los resultados obtenidos en la prueba de normalidad nos indican que no hay motivos para descartar que las variables no sigan un modelo de normalidad, tanto en el grupo experimental como en el grupo control de todos los parámetros, exceptuando los datos de la profundidad de la cámara anterior (ADC) del grupo experimental. En todos los casos excepto en este último la  $p > 0.150$  por ello, no se puede concluir que los datos no sigan una distribución normal. En el caso de la ADC, la  $p = 0.03$  y al ser un valor menor al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que los datos no siguen una distribución normal.

En la siguiente tabla se han recogido los datos obtenidos en las pruebas de normalidad del grupo experimental y, se han añadido dos ejemplos gráficos. Uno de ellos es el vítreo que sí sigue una distribución normal porque el valor de  $p > 0.150$  y, el otro ejemplo es la cámara anterior que como  $p = 0.034$  nos indica que estos datos no siguen una distribución normal.

Parámetros	Media	Desv. Est	Ks	Valor p
Bennet	-0.4672	0.5880	0.119	>0.150
Long. Axial	0.3810	0.2158	0.111	>0.150
Espesor de la lente	-0.0022	0.05421	0.140	>0.150
ACD	0.1649	0.1846	0.197	0.034
Cámara vítrea	0.224	0.1955	0.140	>0.150

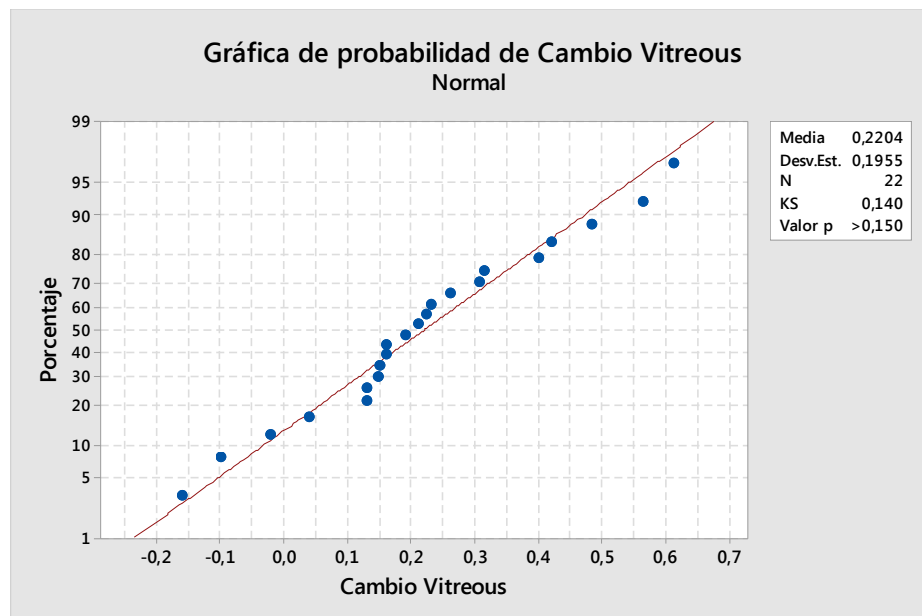


Figura 11: gráfica de probabilidad de Cambios en el vítreo que sigue una distribución normal.

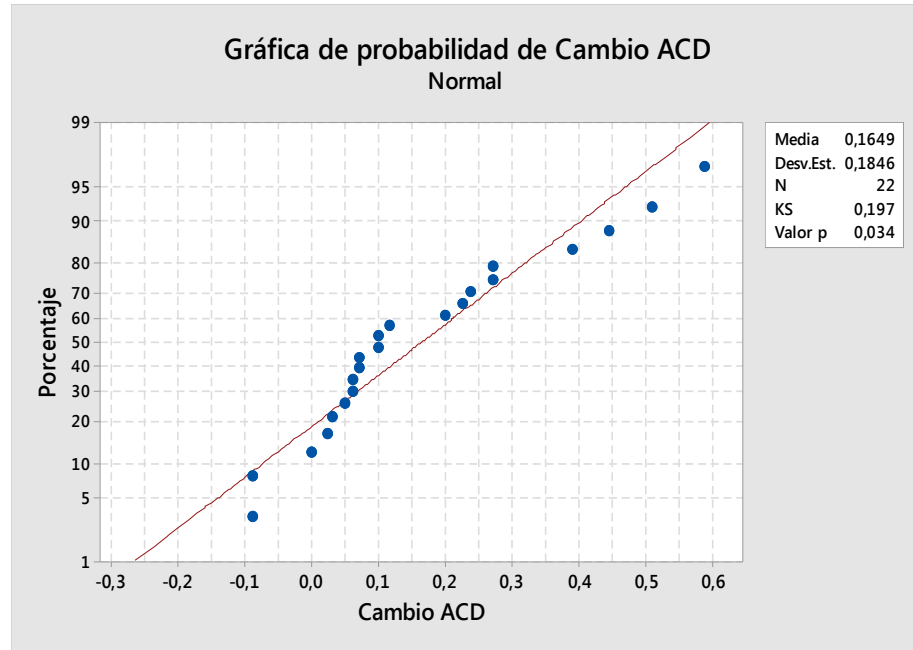


Figura 12: Gráfica de probabilidad de cambios en la profundidad de la cámara anterior que no sigue una distribución normal.

Para el grupo control hemos encontrado que todos los parámetros siguen una distribución normal porque el valor de  $p$  en todos ellos es  $p > 0.150$ . Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla y, a continuación, se ejemplifica con una gráfica.

Parámetros	Media	Desv. Est	Ks	Valor p
Bennet	-0.2129	0.7810	0.128	$>0.150$
Long. Axial	0.5066	0.2351	0.070	$>0.150$
Espesor de la lente	-0.00442	0.06284	0.112	$>0.150$
ACD	0.1557	0.1659	0.108	$>0.150$
Cámara vítrea	0.3503	0.2536	0.147	$>0.150$

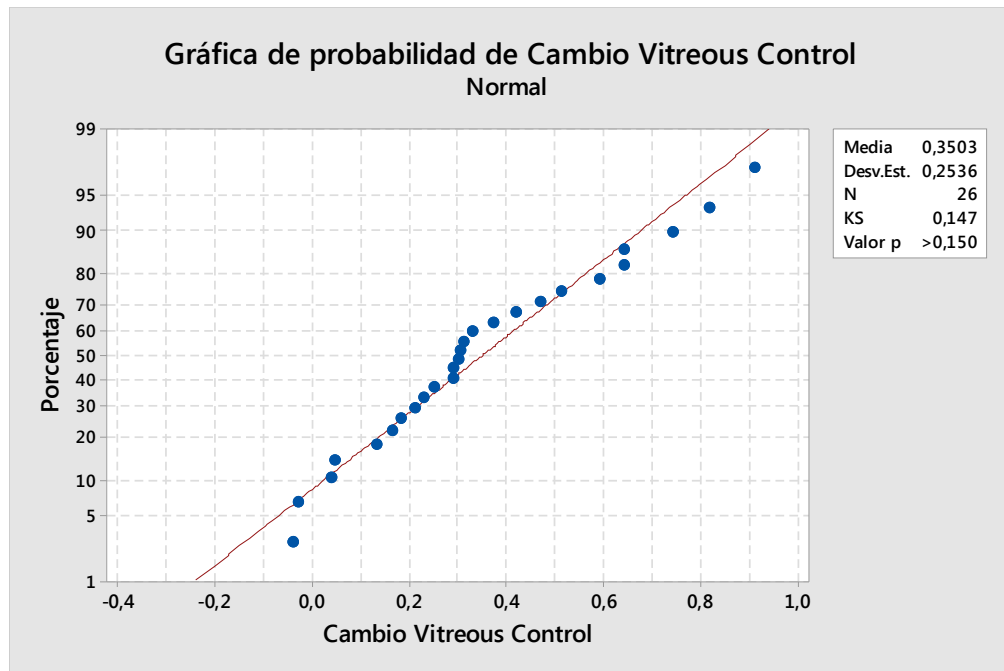


Figura 13: Gràfica de probabilitat de cambios en el vítreo del grupo control que sigue una distribución normal.

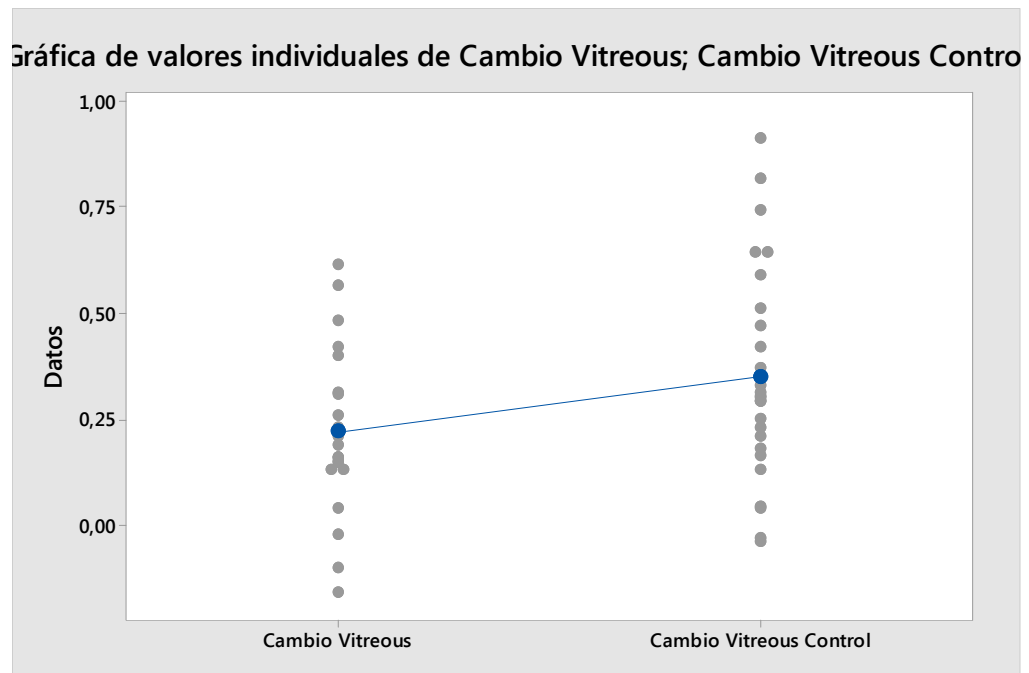
Para evaluar la significancia estadística de las diferencias entre el grupo experimental y el grupo control examiné el valor  $p$  de la prueba. Si el valor de  $p$  está por debajo de un nivel de significancia de 0.05, se puede decir que las diferencias son estadísticamente significativas y se puede rechazar la hipótesis nula de la prueba.

En este caso, los resultados muestran que para todos los parámetros el valor de  $p$  ha sido  $p > 0.05$  y, por tanto, no existe suficiente evidencia para concluir que la diferencia entre el grupo experimental y el grupo control sea estadísticamente significativa en todos los parámetros.

Se han recogido todos los valores de  $p$  en la siguiente tabla y se ha ejemplificado con una gráfica en la que se puede observar los valores individuales del cambio del vítreo, parámetro que aunque no tiene diferencias significativas está muy cerca.

Parámetros	Valor p
Bennet	0.216
Long. Axial	0.062
Espesor de la lente	0.899
ACD	0.856
Cámara vítrea	0.056





### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1,96	46	0,056

Figura 14: Gráfica de valores individuales de los cambios del vítreo entre el grupo experimental y el grupo control.

## 4. Discusión

En la tesis del Dr. Jaume Pauné Fabrè se concluyó que, por un lado, la longitud axial aumentó un 27% menos en el grupo que usó lentes AMIOPIK frente a los que usaron gafas a los dos años de estudio.

Por otro lado, la profundidad de la cámara anterior a los dos años en el grupo experimental, tuvo valores que correspondieron a un 20% y un 45% menos de aumento frente al grupo control que usó gafas.

La cámara vítrea correspondió a un 32% menos de aumento en el grupo experimental con lente AMIOPIK.

Y el poder de la lente se vio que se mantuvo estable en el grupo experimental que usó AMIOPIK mientras que en el grupo que utilizó gafas hubo una ligera disminución en el grosor.

Al analizar estos mismos parámetros en nuestro estudio, hemos encontrado que la ACD crece en los dos grupos y sin diferencias significativas entre ambos. No podemos pensar que existe un crecimiento del ojo porque las diferencias no son significativas.

El espesor de la lente no cambia, mantiene un crecimiento constante en ambos grupos. Al no cambiar el espesor, podríamos decir que la potencia no varía pero, la potencia de la lente disminuye en el grupo experimental. Esto puede ocurrir porque el ojo crece axialmente en los sujetos que desarrollan miopía y de manera global en los sujetos que no la desarrollan. Lo que puede estar pasando es que el cristalino se aplane sin cambiar el grosor y, por tanto, perder potencia aunque no de manera significativa. Las posibles causas serían, por un lado, que el índice de refracción del cristalino haya cambiado y, por otro, que el cristalino realmente se aplane.

Respecto a la cámara vítrea observamos un crecimiento tanto en el grupo control como en el grupo experimental consistente con sujetos que desarrollan miopía. Además este crecimiento de la cámara vítrea se puede correlacionar con el crecimiento de longitud axial. Ésta crece más en el grupo control y, por tanto, podría explicar que en el grupo experimental se está produciendo un control de la miopía. Esta afirmación se confirma viendo como en el grupo experimental el equivalente esférico aumenta menos que en el grupo control. Es decir, la lente experimental está funcionando.

Por último, vemos como en el grupo control la miopía progresa y el ojo crece de forma axial produciéndose un desenfoque periférico mientras que, en el grupo experimental la miopía progresa menos y el crecimiento del ojo se produce de manera global, es decir, el ojo no sólo crece a lo largo sino que también crece en el eje vertical sin variar el desenfoque periférico con lo que el cristalino se aplane.

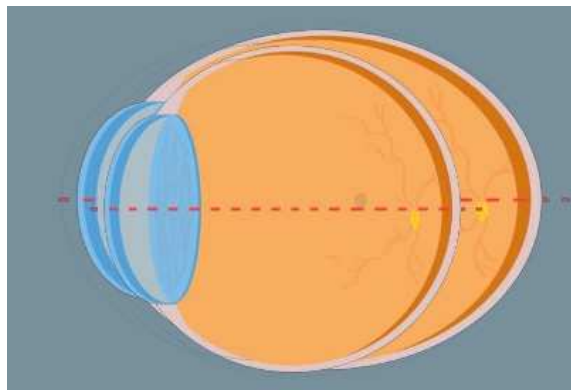


Figura 15: Dibujo del crecimiento del ojo de manera axial y de forma global. Imagen de la Comunicación Optom 2016 Miguel García García "La influencia del café en el control de la miopía"

## 5. Conclusión

Teniendo en cuenta que en la tesis del Dr. Jaumé Pauné Fabré la longitud axial mostró diferencias significativas y, a pesar de que no hemos encontrado diferencias significativas en ningún caso, la longitud de la cámara vítrea y la longitud axial han dado parámetros cercanos a la significatividad. Teniendo también en cuenta que la potencia de la lente parece disminuir en el primer año en el grupo experimental, podemos intuir que el cristalino puede desarrollar un papel importante en el proceso de control de la miopía con lentes de gradiente periférico. Esta contribución parece significativa en el primer año de utilización de las lentes. La influencia de las lentes haría que todos los componentes del ojo (incluido el cristalino) crecieran armoniosamente para buscar la emetropía

## 6. Posibilidades de futuro

Como mejoras futuras podríamos pensar en aumentar el tamaño de la muestra y, además, incluir un grupo de sujetos que utilicen lentes de ortoqueratología estándar para poder comparar, ya que estos son una referencia en algunos estudios de control de miopía. También podríamos pensar en realizar las biometrías con el biómetro IOL Máster. Las biometrías que se han hecho en la tesis del Dr. Jaume Pauné Fabré están realizadas con el biómetro OcuScan RXP que, es un biómetro basado en la ecografía ultrasónica y es un biómetro de contacto. Sería interesante realizarlas con el IOL Máster porque es un biómetro de no contacto basado en la biometría óptica que, a su vez, está basada en la interferometría óptica de baja coherencia pudiendo ofrecernos datos sobre la longitud axial del globo ocular más precisos para el posterior cálculo del poder de la lente.

## 7. Bibliografia

- [1] D. Pascolini and S. P. Mariotti, "Global estimates of visual impairment: 2010," *Br. J. Ophthalmol.*, vol. 96, no. 5, pp. 614–618, 2012.
- [2] P. Mitchell, F. Hourihan, J. Sandbach, and J. J. Wang, "The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study.," *Ophthalmology*, vol. 106, no. 10, pp. 2010–2015, 1999.
- [3] H. Hashemi, A. Fotouhi, A. Yekta, R. Pakzad, H. Ostadimoghaddam, and M. Khabazkhoob, "Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis," *Journal of Current Ophthalmology*, vol. 30, no. 1, pp. 3–22, 2018.
- [4] M. Dirani *et al.*, "Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children," *Br. J. Ophthalmol.*, vol. 93, no. 8, pp. 997–1000, 2009.
- [5] M. He *et al.*, "Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China a randomized clinical trial," *JAMA - J. Am. Med. Assoc.*, vol. 314, no. 11, pp. 1142–1148, 2015.
- [6] R. S. Ashby and F. Schaeffel, "The effect of bright light on lens compensation in Chicks," *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 51, no. 10, pp. 5247–5253, 2010.
- [7] E. H. Myrowitz, "Juvenile myopia progression, risk factors and interventions," *Saudi Journal of Ophthalmology*, vol. 26, no. 3, pp. 293–297, 2012.
- [8] R. Jakel, "A decade in search of myopia genes," *Front. Biosci.*, vol. 15, no. 5, pp. 359–372, 2010.
- [9] "www.informacionopticas.com." .
- [10] D. O. Mutti *et al.*, "Corneal and crystalline lens dimensions before and after myopia onset," *Optom. Vis. Sci.*, vol. 89, no. 3, pp. 251–262, 2012.
- [11] E. L. Smith, "Optical treatment strategies to slow myopia progression: Effects of the visual extent of the optical treatment zone," *Exp. Eye Res.*, vol. 114, pp. 77–88, 2013.
- [12] I. G. Morgan, K. Ohno-Matsui, and S.-M. Saw, "Myopia," *Lancet*, vol. 379, no. 9827, pp. 1739–1748, 2012.
- [13] R. C. Augusteyn, D. Nankivil, A. Mohamed, B. Maceo, F. Pierre, and J. M. Parel, "Human ocular biometry," *Exp. Eye Res.*, vol. 102, pp. 70–75, 2012.
- [14] R. Augusteyn, "On the growth and internal structure of the human lens," *Exp. Eye Res.*, vol. 90, no. 6, pp. 643–654, 2010.
- [15] D. O. Mutti *et al.*, "Axial growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants," *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 46, no. 9, pp. 3074–3080, 2005.

- [16] R. Iribarren, “Crystalline lens and refractive development,” *Progress in Retinal and Eye Research*, vol. 47, pp. 86–106, 2015.
- [17] Y. F. Shih, T. H. Chiang, and L. K. Lin, “Lens thickness changes among schoolchildren in Taiwan,” *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 50, no. 6, pp. 2637–2644, 2009.
- [18] J. Pauné, H. Morales, J. Armengol, L. Quevedo, M. Faria-Ribeiro, and J. M. González-Méijome, “Myopia Control with a Novel Peripheral Gradient Soft Lens and Orthokeratology: A 2-Year Clinical Trial,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, 2015.
- [19] L. Donovan *et al.*, “Myopia progression in Chinese children is slower in summer than in winter,” *Optom. Vis. Sci.*, vol. 89, no. 8, pp. 1196–1202, 2012.
- [20] B. Vasudevan and K. J. Ciuffreda, “Nearwork-induced changes in lenticular thickness in different refractive groups,” *Optometry*, vol. 82, no. 11, pp. 662–666, 2011.
- [21] J. J. Walline, “Myopia control: A review,” *Eye and Contact Lens*, vol. 42, no. 1, pp. 3–8, 2016.
- [22] S. L. Pineles *et al.*, “Atropine for the Prevention of Myopia Progression in Children: A Report by the American Academy of Ophthalmology,” *Ophthalmology*, vol. 124, no. 12, pp. 1857–1866, 2017.
- [23] B. Vasudevan, C. Esposito, C. Peterson, C. Coronado, and K. J. Ciuffreda, “Under-correction of human myopia - Is it myopigenic?: A retrospective analysis of clinical refraction data,” *J. Optom.*, vol. 7, no. 3, pp. 147–152, 2014.
- [24] D. Cheng, G. C. Woo, B. Drobe, and K. L. Schmid, “Effect of bifocal and prismatic bifocal spectacles on myopia progression in children: Three-year results of a randomized clinical trial,” *JAMA Ophthalmol.*, vol. 132, no. 3, pp. 258–264, 2014.
- [25] M. J. Rah *et al.*, “Vision specific quality of life of pediatric contact lens wearers.,” *Optom. Vis. Sci.*, vol. 87, no. 8, pp. 560–566, 2010.
- [26] J. M. González-Méijome *et al.*, “Strategies to regulate myopia progression with contact lenses: A review,” *Eye and Contact Lens*, vol. 42, no. 1, pp. 24–34, 2016.
- [27] J. Pauné, H. Morales, J. Armengol, L. Quevedo, M. Faria-Ribeiro, and J. M. González-Méijome, “Myopia Control with a Novel Peripheral Gradient Soft Lens and Orthokeratology: A 2-Year Clinical Trial,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, no. D, 2015.
- [28] J. J. Rozema, D. a Atchison, and M.-J. Tassignon, “Comparing methods to estimate the human lens power.,” *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 52, no. 11, pp. 7937–42, 2011.